

# INTERFEJS MÓZG-KOMPUTER ORAZ DIAGNOSTYKA EEG STANU AKTYWACJI MÓZGU W TRENINGU SPORTOWYM: META-ANALIZA

## BRAIN-COMPUTER INTERFACE AND DIAGNOSTICS EEG ACTIVATION STATE OF THE BRAIN IN SPORT TRAINING: META-ANALYSIS

**Monika Nawrocka\***

Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach,  
Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Teorii i Praktyki Sportu,  
40-065 Katowice, ul. Mikołowska 72 A

\*e-mail: the.monkas@gmail.com

### STRESZCZENIE

Praca dotyczy obszaru badań związanych z pomiarami i przetwarzaniem sygnału elektroencefalograficznego oraz bezpośredniej komunikacji aktywacji mózgu z urządzeniem zewnętrznym za pomocą systemów zawierających interfejs mózg-komputer (ang. BCI – *brain computer interface*) w celu modyfikacji klasycznego podejścia metodycznego w sporcie. Osiąganie wyników sportowych zbliża się do granic przystosowania ustroju ludzkiego. Natomiast poszukiwanie kryteriów i wysokiej wartości diagnostycznej potencjału sportowego oraz określenie tej wartości z pewnością spełni funkcję predykcyjną w szkoleniu sportowym. Badania wskazują na to, że wdrożenie metody sprzężenia zwrotnego EEG do treningu sportowego wpływa na poprawę stanu funkcjonalnego organizmu, a w konsekwencji polepszenie wyników w sporcie.

**Słowa kluczowe:** elektroencefalografia, interfejs mózg-komputer, trening sportowy, biofeedback

### ABSTRACT

The paper concerns the research related to the measurement and electroencephalographic signal processing and direct communication of brain with an external device using a system containing a brain-computer interface (BCI) for the modification of the classical methodological approach in sport. Achieving better sports results is approaching the limits of adaptability of the human organism. Establishing reliable criteria and high value diagnostics of sport potential and determination of this value, will be a prediction factor in sports training. The implementation of the EEG biofeedback method in sports training will improve the functional status of the organism, and consequently, may contribute to better sport results.

**Keywords:** electroencephalography, brain-computer interface, sports training, biofeedback

### 1. Wstęp

Poziom przygotowania motorycznego, technika sportowa, taktyka walki sportowej oraz przygotowanie

psychiczne stanowią składowe wyniku sportowego. W ujęciu całościowym wynik sportowy jest zjawiskiem wieloczynnikowym [1]. Jednak specyfika danej dyscypliny sportu lub konkurencji sportowej, może wymagać precyzyjniejszej informacji zwrotnej związanej z modyfikacją klasycznego podejścia metodycznego w sporcie. Jako przykład można podać stan gotowości startowej, w której zawodnik powinien zaprezentować optimum swoich możliwości w zależności od zmiennych warunków zewnętrznych. Efektywne manipulacje zmiennymi treningu są niezbędne do osiągnięcia zaplanowanych celów [2].

Właściwa konfiguracja pojedynczych, wybranych cech czy też umiejętności, powoduje uruchomienie procesu realizacji potencjału sportowego. Blecharz i Nowicki utworzyli model, który zawiera trzy składniki konfiguracyjne: koncentracja, opanowanie i pewność tzw. KOP [3]. Niestety wielu zawodników w czasie swojej zawodniczej kariery bardzo sporadycznie potrafi uzyskać stan odpowiedniej koncentracji, a zarazem opanowania i pewności siebie. W opracowaniu autorzy odnoszą się do sposobu prezentacji parametrów fal mózgowych odczytywanych z interfejsu mózg-komputer oraz podejścia diagnostycznego identyfikacji stanu aktywacji mózgu w ocenie przygotowania do gotowości startowej. Celem opracowania jest przedstawienie obecnych metod świadomego modyfikowania aktywności mózgu. Omówiono także problem zanieczyszczenia danych mózgowych przez artefakty pochodzenia niemózgowego.

Problemem badawczym jest więc rola interfejsu mózg-komputer mająca na celu przewidywanie fizjologicznych parametrów ruchu wraz z diagnostyką zmian aktywności fal mózgowych, jakie zachodzą podczas przygotowania do stanu gotowości startowej.

## 2. Podstawy elektrofizjologii mózgu

Podstawową jednostką przetwarzania informacji w ludzkim mózgu jest neuron. Sygnał takiej informacji opiera się na sumowaniu potencjałów postsynaptycznych. Biegnie przez akson do synaps. Odpowiedzi na impulsy pochodzą z aksonów innych neuronów. Przekroczenie progu potencjału wypadkowego generuje impuls jako potencjał czynnościowy, propagujący wzdłuż aksonu. Neuron generuje impuls, który jako potencjał czynnościowy przemieszcza się do następnego neuronu [4]. Nośnikami ładunku są jony potasu  $K^+$ , sodu  $Na^+$ , wapnia  $Ca^{2+}$  i chloru  $Cl^-$ . Jony przepływają przez błony neuronów, zmieniając ich polaryzację pod zmian wpływem napięcia elektrycznego i procesów dyfuzji.

## 3. Przetwarzanie informacji zmian procesów fizjologicznych

Metodą czy też urządzeniem powszechnie stosowanym w pracy nad stanem aktywacji mózgu w sporcie jest biofeedback EEG (EEG –elektroencefalografia). Natomiast badaniem procesów przetwarzania informacji przez mózg, kontrolą zachowania i świadomości zajmuje się informatyka neurokognitywna [5]. Wdrożenie praktycznych algorytmów pozwala na lepsze zrozumienie przetwarzanej informacji zwrotnej.

Elektroencefalografia stanowi narzędzie pomiaru i przedstawienia informacji dotyczących zmian procesów fizjologicznych aktywności elektrycznej mózgu. Została zaproponowana przez Hansa Bergera w 1929 roku jako nieinwazyjna technika badania mózgu [6]. Bazuje na analizie sygnałów elektrycznych, charakterystycznych dla poszczególnych rodzajów aktywności mózgu [7]. Interfejs mózg-komputer (BCI) pozwala na bezpośrednią komunikację mózgu z urządzeniem zewnętrznym. Stworzenie interfejsów BCI umożliwiło przewidywanie kinematycznych i kinetycznych parametrów ruchów kończyn oraz elektromiograficznej lub elektrycznej aktywności mięśni [8, 9].

Zawodnik poddawany treningowi biofeedback uczy się kontrolować aktywność swojego mózgu. Na podstawie uzyskanej informacji zwrotnej (biofeedback) można badać wpływ warunków zewnętrznych na działania realizacji potencjału sportowego w przygotowaniu motywującym osiągnięcie najwyższych wyników sportowych. Wyróżnia się różne zakresy fal elektromagnetycznych:

- fale gamma – częstotliwość zmian sygnału z zakresu od 40 Hz do 200 Hz, a wahania amplitudy są znaczne. Towarzyszy funkcjom motorycznym, aktywności ruchowej oraz procesom poznawczym [10].
- fale beta – częstotliwość zmian sygnału z zakresu od 13 Hz do 30 Hz, a wahania amplitudy są znaczne i nie mają wielkiego znaczenia diagnostycznego. Występuje w stanie gotowości,

funkcje pracy umysłowej i świadomym relaksie.

- fale alfa – częstotliwość zmian sygnału z zakresu od 8 Hz do 13 Hz, a amplituda sięga 35  $\mu\text{V}$ . Charakterystyczny dla stanu spoczynkowego, relaksu i odprężenia.
- fale theta – częstotliwość zmian sygnału z zakresu od 4 Hz do 7 Hz, a amplituda sięga 30  $\mu\text{V}$ . Dominuje w stanie czuwania lub intensywnej emocji, w których świadomość pozwala na kontrolowanie bólu fizycznego.
- fale delta – częstotliwość zmian sygnału z zakresu od 0,5 Hz do 4 Hz, a amplituda sięga 50  $\mu\text{V}$  [11]. Znamienny dla stanu najgłębszego snu lub głębokiej medytacji.

Metoda biofeedback EEG ma na celu nauczyć sportowca świadomego modyfikowania funkcji (fal mózgowych), które nie są kontrolowane świadomie na podstawie sygnałów zwrotnych o zmianach stanu fizjologicznego. Dla przykładu w stanie wytężonego wysiłku fizycznego dominuje środkowe pasmo fal gamma, czego skutkiem jest niedobór fal theta, pozwalających na kontrolowanie bólu fizycznego. W procesie treningowym, występuje zatem zarówno niedobór, jak i nadmiar fal o pewnych częstotliwościach, co uniemożliwia sportowcowi wykonywanie pewnych czynności (problemy ze skupieniem się na wykonaniu konkretnego zadania lub kontrolowaniem emocji). Metoda sprzężenia zwrotnego polega na określeniu tych częstotliwości celem optymalnego sterowania ich wartościami w procesie treningowym. Przetwarzanie informacji sprzężenia zwrotnego charakteryzuje:

- wysoki wolumen danych wynikający ze złożoności świadomego modyfikowania fal mózgowych poprzez informację zwrotną zmian procesów fizjologicznych,
- uzasadnienie pochodzenia, struktury i zawartości danych, które będą poddawane analizom,
- duża zmienność danych w czasie wiążąca się z dynamiką i złożonością fal mózgowych.

Przekazywanie informacji może odbywać się drogą wizualną lub akustyczną. Zawodnik podczas sesji wizualnej pogłębia swoją koncentrację, realizując scenariusz symulacji komputerowej odtwarzanej na ekranie monitora. Sesja akustyczna polega na odtwarzaniu przyjemnego lub nieprzyjemnego dźwięku w zależności od sukcesu lub porażki symulowanej walki sportowej.

#### 4. Narzędzia i metody analityczne stanu aktywacji mózgu w sporcie

Dobrym przykładem badań nad stanem aktywacji mózgu, w którym zastosowano analitykę zachodzących zmian procesów fizjologicznych pod wpływem wykonywania pewnych czynności wymagających skupienia jest praca autorów: Perry, Shaw i Zaichkowsky [12]. Miguel Nicolelis i współpracownicy wykazali, że stosowanie BCI w diagnostyce aktywności elektroencefalograficznej dużych zespołów neuronalnych może przewidzieć pozycję ramienia [13]. Ponadto, można badać efekty stymulacji optycznej kory czuciowej [14, 15].

W licznych badaniach potwierdzono skuteczność biofeedback EEG w treningu kontroli emocji, natężenia intensywności bodźców zewnętrznych podczas zawodów, optymalizacji treningu siłowego, podejmowania decyzji w warunkach gry [16, 17]. Kluczowym elementem opisu wpływu zmian warunków zewnętrznych na sygnał EEG jest doświadczenie informatyczne, znajomość narzędzi transformacji oraz składowania danych [18].

Budowa systemu informatycznego w świetle analizy fal mózgowych powinna być realizowana na podstawie rozwiniętych narzędzi badawczych. System analityczny ma realizować m.in. takie zadania jak:

- efektywność i elastyczność ładowania oraz eksploracji dużych wolumenów danych z bezprzewodowego systemu EEG,
- kompletny zestaw funkcji analitycznych parametrów fal mózgowych,
- szybki przekaz informacji zwrotnej na zadawane pytania wraz z realizacją mikro i makro analiz o stanie aktywacji mózgu,
- dostęp do interaktywnych analiz danych także za pomocą urządzeń mobilnych.

Narzędzia analityczne potencjału sportowego w treningu sportowym stanowią rozwiązania technologiczne realizujące trzy koncepcje:

- In memory – polega na przetwarzaniu danych w pamięci,
- In-database – polega na przetwarzaniu danych realizowanych przez silnik bazy danych,
- Grid computing – przetwarzanie danych równoległe realizowane przez sieć komputerów.

## 5. Zakres diagnostyki elektroencefalograficznej w treningu sportowym

Dynamika zmian parametrów fizjologicznych podczas pracy treningowej stanowi złożony układ procesów losowych. W ujęciu teorii treningu sportowego niewielu ludzi zajmuje się sprzężeniem zwrotnym zmian procesów fizjologicznych. Brakuje odpowiedniego wykorzystania odpowiednich metod i narzędzi softwarowych. Znalezienie kryteriów i wysokiej wartości diagnostycznej oraz określenie tej wartości z pewnością spełni funkcję predykcyjną w szkoleniu sportowym. Badacze dochodzą do wniosków, że osiąganie coraz lepszych wyników sportowych zbliża się do granic możliwości ustroju ludzkiego [19].

Nowym spojrzeniem na dalszy rozwój wyszkolenia sportowego w ujęciu metodologicznym stanowią predykcyjne analizy i maszynowe uczenie [20, 21]. Dynamika aktywacji mózgu traktowana jest jako najnowsza realizacja wydajności i potencjału sportowego [22]. Natomiast nieinwazyjny charakter elektroencefalografii (EEG) stał się najbardziej obiecującym rozwiązaniem zapewnienia informacji zwrotnej zachodzących procesów mózgowych i zmian fizjologicznych. Cheron i współpracownicy w badaniach nad oscylacją mózgu w sporcie proponują zintegrowane podejście: (ruchy 3D oraz EMG) oraz wysokiej rozdzielczości EEG i analiza sygnałów ERP (ang. *event-related potential* – potencjały wywołane) [23]. Opracowanie autorów powstało dzięki zastosowaniu najnowszych modeli neuronowych umożliwiających rozpoznanie różnych oscylacji wzgórzowo-korowych i hipokampu.

Oprócz uwzględniania aspektów neurofizjologicznych w sporcie, należy również skupić się na przełożeniu rezultatów laboratoryjnych na warunki zewnętrzne i pole rozgrywek sportowych. Obliczenia statystyczne w badaniach prowadzonych przez Reinecke i współpracowników pod kątem różnic pomiędzy wpływem warunków zewnętrznych i laboratoryjnych, wykazały znaczne różnice tylko dla oscylacji theta w odprowadzeniu F4 [24]. Obserwacje te wskazują na to, że wytrenowane wzorce aktywności mózgu uzyskane w warunkach laboratoryjnych są porównywalne. Jednakże niepotwierdzona została równoważność wzorców w warunkach laboratoryjnych i polowych [25]. Problemem w badaniach EEG jest zanieczyszczenie danych mózgowych przez artefakty pochodzenia pozamózgowego. Artefakty te pojawiają się, gdy badany obiekt jest w ruchu, co oznacza, że uzyskanie wiarygodnych danych w czasie wykonywania ćwiczeń jest z natury problematyczne [26].

## 6. Zakończenie

Badanie EEG wydaje się być dobrym narzędziem do obserwacji aktywności mózgu w warunkach polowych, jak i laboratoryjnych. Jednakże, biorąc pod uwagę wciąż istniejące problemy artefaktów ruchowych, ćwiczenia są dość często ograniczone do stosunkowo statycznych. Według przeprowadzonych badań po treningu biofeedback EEG u 560 sportowców i studentów nastąpiła poprawa stanu funkcjonalnego, a w konsekwencji wzrost potencjału sportowego [27].

Wykazano też, że częstotliwość fal EEG podczas treningu sprawności motorycznej znacznie spada (szczególnie fal delta, theta i gamma) [28, 29]. Pasma beta (13–30 Hz) dominuje podczas izometrycznych skurczy przedramienia [30]. Natomiast zmiany w paśmie beta stwierdzono dla powolnych powtórzeń wykonywanych ćwiczeń w skurczach mięśni [31].

Nowoczesne technologie i sprzężenie zwrotne EEG stawia przed praktykami i trenerami sportu możliwość przewidywania wpływu ogólnego treningu sportowego na wynik sportowy w kontekście indywidualnym.

## LITERATURA

- [1] E. Aaberg: *Muscle Mechanics. Human Kinetics*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, Second Edition, 2006, s. 6–29.
- [2] L.E. Brown, J.P. Weir: *ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power*, An International Electronic Journal, vol. 4(3), 2001, s. 1–21.
- [3] J. Blecharz, D. Nowicki: *Psychologiczne aspekty adaptacji sportowców do zmiennych warunków klimatycznych*, Sport Wyczynowy, vol. 7–8, 2000, s. 427–428.
- [4] D. Felten, R. Józefowicz: *Atlas neuroanatomii i neurofizjologii Nettera*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2007.
- [5] A. Klawiter, (red): *Studia z Kognitywistyki i Filozofii Umysłu. Tom 3*, Instytut Psychologii UAM, Poznań 2009.

- [6] R.M. Kaplan: *The mind reader: the forgotten life of Hans Berger, discoverer of the EEG*, Australasian Psychiatry, vol. 19(2), 2011, s. 168–169.
- [7] D.M. Smith: *Neurophysiology of action anticipation in athletes: A systematic review*, Neuroscience & Biobehavioral Reviews, vol. 60, 2016, s. 115–120.
- [8] R.J. Rak, M. Kołodziej, A. Majkowski: *Interfejs mózg-komputer: wybrane problemy rejestracji i analizy sygnału EEG*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 12, 2009.
- [9] A. Hulewicz, M. Junkiewicz: *Analiza sygnałów EEG na potrzeby interfejsu mózg-komputer*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna, vol. 20(3), 2014, s.137–142.
- [10] J. Rowan, E. Tolunsky: *Podstawy EEG z mini atlasem*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław, 2004.
- [11] R. Tadeusiewicz: *Inżynieria biomedyczna*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-dydaktyczne, Kraków, 2008.
- [12] F.D. Perry, L. Shaw, L. Zaichkowsky: *Biofeedback and Neurofeedback in Sports*, Biofeedback, vol. 39(3), 2011, s. 95–100.
- [13] M.A.L. Nicoletis: *Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits*, Nature Reviews Neuroscience, vol. 4, s. 417–422.
- [14] G. Schalk: *BCI2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface (BCI) System*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 51(6), 2004, s. 1034–1043.
- [15] D. Huber, L. Petreanu, N. Ghitani, S. Ranade, T. Hromádka, Z. Mainen, K. Svoboda: *Sparse optical microstimulation in barrel cortex drives learned behaviour in freely moving mice*, Nature, vol. 451(7174), 2008, s. 61–64.
- [16] P. Maman, G. Kanupriya, S.S. Jaspal: *Role of Biofeedback in Optimizing Psychomotor Performance in Sports*, Asian Journal of Sports Medicine, vol. 3(1), 2011, s. 29–40.
- [17] A.M. Proverbio, M. Manfredi, A. Zani, R. Adorni: *Musical expertise affects neural bases of letter recognition*, Neuropsychologia, vol. 51(3), 2013, s. 539–539.
- [18] D. Kourtis, N. Sebanz, G Knoblich: *EEG correlates of Fitts's law during preparation for action*, Psychological Research, vol. 76, 2012, s. 514–524.
- [19] P. Aagaard, J.L. Andersen, P. Dyhre-Poulsen, A.-M. Leffers, A. Wagner, S.P. Magnusson, J. Halkjær-Kristensen, E.B. Simonsen: *A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture*, The Journal of Physiology, vol. 15(534), 2001, s. 613–623.
- [20] T. Hey, S. Tansley, K. Tolle: *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*, Microsoft Research, Redmond, 2009.
- [21] D.A. Reed, J. Dongarra: *Exascale Computing and Big Data*, Communications of the ACM, vol. 58(7), 2015, s. 56–68.
- [22] Y. Nakamura, K. Nishimoto, M. Akamatu, M. Takahashi, A. Maruyama: *The effect of jogging on P300 event related potentials*, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, vol. 39, 1999, s. 71–74.
- [23] G. Cheron, G. Petit, J. Cheron, A. Leroy, A. Cebolla, C. Cevallos, M. Petieau, T. Hoellinger, D. Zarka, A.-M. Clarinval, B. Dan: *Brain Oscillations in Sport: Toward EEG Biomarkers of Performance*, Frontiers in Psychology, 2016, s. 1–25.
- [24] D. Reinecke, H. Burhenne, P. Sandner, V. Kaefer, R. Seifert: *Human cyclic nucleotide phosphodiesterases possess a much broader substrate-specificity than previously appreciated*, Federation of European Biochemical Societies, Elsevier, 2011.
- [25] K. Reinecke, M. Cordes, Ch. Lerch, F. Koutsandreu, M. Schubert, M. Weiss, J. Baumeister, *From Lab to Field Conditions: A Pilot Study on EEG Methodology in Applied Sports Sciences*, Applied Psychophysiological Biofeedback, vol. 36, 2011, s. 265–271.
- [26] T. Thompson, T. Steffert, T. Ros, J. Leach, J. Gruzelier: *EEG applications for sport and performance*, Methods, vol. 45(4), 2008, s. 279–288.
- [27] L.P. Cherapkina, N.A. Bayova, I.G. Talamova, V.G. Tristan: *Use of neurobiocontrol in training and educational processes*, Teoria i Praktyka Fiziceskoj Kul'tury, vol. X(1), 2006, s. 12–14.
- [28] S.W.H. Wong, R.H.M. Chan, J.N. Mak: *Spectral modulation of frontal EEG during motor skill acquisition: a mobile EEG study*, International Journal of Psychophysiology, vol. 91(1), 2014, s. 16–21.
- [29] J. Gao, W. Wang, J. Zhang: *Explore Interregional EEG Correlations Changed by Sport Training Using Feature Selection*, Computational Intelligence & Neuroscience, vol. 2016, 2016, s. 1–10.
- [30] G. Wei, J. Luo: *Sport expert's motor imagery: functional imaging of professional motor skills and simple motor skills*, Brain Research, vol. 1341, 2010, s. 52–62.
- [31] B.C.M. van Wijk, V. Litvak, K.J. Friston, A. Daffertshofer: *Nonlinear coupling between occipital and motor cortex during motor imagery: a dynamic causal modeling study*, NeuroImage, vol. 71, 2013, s. 104–113.

otrzymano / submitted: 09.04.2016  
 poprawiono/ revised: 11.04.2016  
 zaakceptowano / accepted: 16.01.2017